

Implementación del ETRS89 en el ámbito del Institut Cartogràfic de Catalunya

Bosch, Ernest; Grau, Joel; Talaya, Julià; Colomer, Josep Lluís.

Institut Cartogràfic de Catalunya, <http://www.icc.cat>

Resumen

De acuerdo a la directiva Inspire 2007/2/EC se publicó el Real Decreto 1071/2007 por el cual se regula el nuevo sistema de referencia oficial en España. El articulado establece el sistema ETRS89 como sistema geodésico oficial. El marco oficial de este sistema se materializa mediante la red Regente y sus densificaciones. El convenio establecido entre el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) finalizó con la aceptación de un único conjunto de coordenadas ETRS89 de la red ROI en Catalunya observadas mediante técnicas GNSS que constituyen el marco oficial ETRS89.

En este artículo se presentan los trabajos realizados por el ICC para la determinación del método óptimo para la adopción del nuevo sistema de referencia teniendo en cuenta criterios de preservación de los criterios de la geoinformación además de los estrictamente geodésicos. Estos criterios abarcan desde la homogeneidad de la solución para que el método sea aplicable a todas las escalas desde 1:50.000 al 1:1000, hasta la simplicidad de uso para todos los usuarios de la cartografía oficial del ICC. Se describe la metodología empleada para la adaptación de los flujos de producción en los primeros estadios, como la planificación del vuelo y la aerotriangulación. Finalmente se, presenta el esquema de la política a adoptar por parte del ICC en diversos sectores que abarcan organismos oficiales, ayuntamientos, Diputaciones, organismos de la Generalitat, y profesionales SIG, topografía y usuarios no expertos, recreo, montañismo. Para cada uno de estos sectores de diseñará un plan de formación, soporte técnico y comunicación específico que mejor se adapte a cada perfil.

PALABRAS CLAVE

ETRS89, Geodesia, Cartografía, Implementación.

1. Motivación de la adopción del ETRS89

Desde la subcomisión de la International Association of Geodesy (IAG) para el marco de referencia europeo (EUREF), y siguiendo su primera resolución adoptada en Firenze en 1990, se recomienda que los países europeos adopten el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). La adopción de este sistema ha sido recomendada por la UE (Unión Europea), Eurocontrol (agencia europea de gestión de tráfico aéreo), y EuroGeographics (asociación de agencias nacionales de cartografía y catastro), entre otras entidades a nivel nacional y europeo. Actualmente, el sistema ETRS89 ya se utiliza de forma habitual como base para el desarrollo de trabajos cartográficos y todo tipo de ciencias de observación de la Tierra.

Así pues, en los ámbitos astronómico, geofísico, geodésico y cartográfico de la sociedad de la información actual, los marcos de referencia globales se han convertido en una necesidad constante. Tanto es así, que en 1987 la International Astronomical Union y la International Union of Geodesy and Geophysics crearon el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) con el objetivo de que se convirtiera en la institución encargada de definir, realizar y promocionar estos marcos de referencia globales, llamados ITRF (International Terrestrial Reference Frames) y apoyados sobre ITRS (International Terrestrial Reference Systems) del tipo ECEF (Earth Centered Earth Fixed). Estos sistemas de referencia giran solidariamente con la Tierra en su movimiento diurno y sufren ligeras modificaciones debido a las propias deformaciones del planeta y procesos de actualización que incorporan nuevas técnicas de observación y metodologías de cálculo.

Paralelamente, la subcomisión de la IAG para el marco de referencia europeo (EUREF), siguiendo su primera resolución adoptada en Firenze en 1990, recomienda adoptar un sistema de referencia terrestre coincidente con el ITRS en la época 1989.0 y fijado en la parte estable de la placa europea. Este sistema de referencia se denomina ETRS89, también del tipo ECEF, debería permitir no sólo la georeferenciación común de elementos dentro de la comunidad europea sino también una mayor interoperabilidad de la información geográfica y los sistemas de posicionamiento global.

Otras instituciones y directivas a nivel europeo, como INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), EuroGeographics o Eurocontrol, también promueven la implantación de un nuevo sistema de referencia global. Así, la UE inició y apoya la directiva INSPIRE para que la información geográfica sea disponible, armonizada y de calidad. La asociación EuroGeographics, en representación de las agencias nacionales europeas de cartografía y catastro, trabaja en el desarrollo de productos y servicios a nivel europeo promoviendo la colaboración y cooperación de sus miembros. La organización Eurocontrol desarrolla y coordina planes para la

implementación a corto, medio y largo plazo de estrategias de gestión del tráfico aéreo a nivel europeo. Estos son algunos ejemplos de las recomendaciones y tendencias generales a nivel europeo y mundial.

El Real Decreto 1071/2007 oficializa el sistema de referencia ETRS89 tomando como marco la red de vértices REGENTE y sus densificaciones a la vez que define un nuevo corte geográfico por la base cartográfica MTN50, a emplear en las series cartográficas a nivel nacional. Lo que implica no sólo contemplar el impacto del cambio al nuevo datum sino también la asunción del nuevo corte y las implicaciones que esto puede tener en las series producidas hasta el momento.

2. El origen ED50 y el destino ETRS89.

ED50

El sistema de referencia geodésico ED50 (European Datum 1950) fue creado en el transcurso de la Segunda Guerra Mundial, en la que se hizo patente la necesidad de conectar internacionalmente las diferentes redes geodésicas europeas. Algunas de las batallas más importantes de la Segunda Guerra Mundial, que tuvieron lugar en Europa, toparon con el problema que la cartografía de diferentes países tenían diferentes sistemas de referencia, lo que complicaba las tareas de los ejércitos. Este hecho condujo al departamento de defensa de los Estados Unidos a establecer ED50 como un datum único para realizar la cartografía de todo el oeste de Europa.

Está basado en el elipsoide Internacional de 1924. Este elipsoide fue ampliamente utilizado en todo el mundo hasta los años 1980, cuando se determinaron los elipsoides GRS80 (Geodetic Reference System 1980) y WGS84 (World Geodetic System 1984) que hereda el nombre del sistema de referencia en el que utiliza y que se conoce también como WGS84.

El sistema de referencia ED50 supuso la unificación de los sistemas de referencia geodésicos para gran parte de Europa Occidental. Los puntos que materializaban el sistema de referencia ED50 lograron en aquellos momentos una exactitud continental que oscilaba entre unos pocos metros en el centro de Europa y más de diez metros en el extremo sur.

La realización del marco ED50 en España proviene del ajuste de la red de primer orden realizado por el Army Map Service que se utilizó posteriormente como marco de ajuste de la red ROI Datum ED50, por parte del Instituto Geográfico Nacional con observaciones realizadas con teodolito obteniendo una precisión de entre 10 y 30 cm.

La necesidad de una red en ED50 de mayor coherencia interna para los trabajos de grandes escalas del ICC motivo la reobservación y ajuste los vértices de la red ROI en Catalunya mediante técnicas GPS. De este ajuste, realizado por el ICC, se obtuvo un marco *ED50-ICC* de los vértices de la red ROI con una precisión de 4cm. Para preservar la oficialidad de la producción cartográfica se garantizó que todas las coordenadas obtenidas estuvieran en la elipse de error de las coordenadas publicadas por el IGN. Este ajuste ICC de los vértices ROI ha sido utilizado por el ICC como marco geodésico de sus productos oficiales en ED50 ya que dispone de la precisión necesaria para la producción de cartografía 1:1000 a lo largo de grandes áreas.

ETRS89

ETRS89 es un sistema geodésico de referencia tridimensional. Coincide con el ITRS en el marco ITRF89 época 1989.0, materializando el marco ETRF89 época 1989.0. Es un sistema de referencia ligado a la parte estable de la placa europea y se mueve solidariamente a la placa tectónica Eurasiática. Periódicamente se actualizan los parámetros que permiten transformar datos georeferenciados entre los sistemas ITRS y ETRS89 sin pérdidas de precisión.

El marco oficial ETRS89 en España está construido por la red Regente que densifica la red IBERIA calculada en la campaña Iberia95 con la que EUREF aprobó coordenadas ETRS89 para la península Ibérica como red de clase B. La red Regente tiene una precisión de 5cm. A partir de las coordenadas Regente y incorporando las observaciones del ICC se ha realizado un ajuste de la Red ROI que mediante un convenio entre el Instituto Cartográfico de Catalunya y el Instituto Geográfico Nacional adoptó un único conjunto de coordenadas en ETRS89 que dotan a la ROI en ETRS89 de una coherencia concordante con las precisiones de los métodos de observación actuales GNSS.

En Catalunya existen en ambos sistemas, ED50 y ETRS89, dos marcos de alta coherencia ya que comparten observaciones, que permite una transformación de sistema de referencia de productos cartográficos sin introducir distorsión debido a las distintas precisiones de los marcos origen y destino.

Hay todavía otros muchos factores que influyen en la precisión de un cambio de sistema de referencia pero el más habitual y restrictivo el de incoherencia de marcos que propició el desarrollo de mallas de transformación como el NTV2 y NADCON.

3. Metodologías para abordar un cambio de sistema de referencia genérico

Des de un punto de vista geodésico estricto, la metodología necesaria y suficiente para abordar un cambio de sistema de referencia es la transformación de semejanza tridimensional. Así pues, dado un sistema tridimensional de coordenadas cartesianas como el de la Figura 1 (a), esta transformación se basa en los siete parámetros que muestra la Figura 1 (b). Estos siete parámetros son: tres translaciones (una para cada eje en el espacio tridimensional: ΔX , ΔY , ΔZ), tres giros (uno para cada eje en el espacio tridimensional: RX , RY , RZ) y un factor de escala (el mismo para los tres ejes en el espacio tridimensional: s).

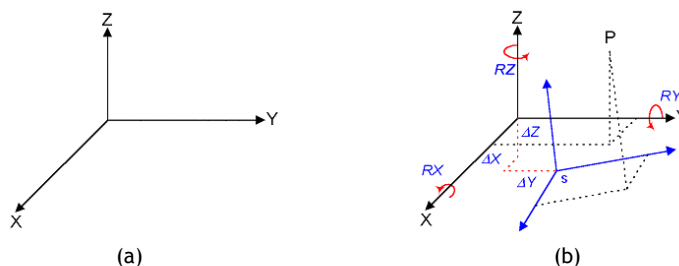


Figura 1 Sistema de referencia tridimensional (a) y transformación de semejanza tridimensional (b)

Suponiendo que el cambio de sistema de referencia se ha de aplicar en un espacio bidimensional (como podría ser el caso de la cartografía), la metodología planteada en el párrafo precedente se puede simplificar a una transformación de semejanza bidimensional. Así pues, dado un sistema bidimensional de coordenadas cartesianas como el de la Figura 2 (a), esta transformación se basa en los cuatro parámetros que muestra la Figura 2 (b). Estos cuatro parámetros son: dos translaciones (una para cada eje en el espacio bidimensional: ΔX , ΔY), un giro (en el plano 2D: α) y un factor de escala (el mismo para los dos ejes bidimensionales: s).

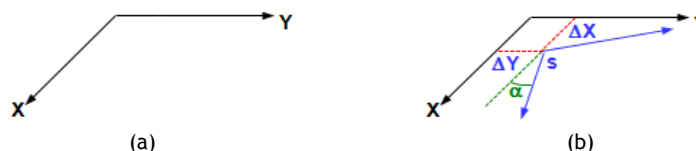


Figura 2 Sistema de referencia bidimensional (a) y transformación de semejanza bidimensional (b)

Las dos transformaciones de semejanza descritas en los párrafos precedentes son, por definición, conformes. Esto significa que cualquier objeto que se transforme con una de estas dos metodologías no sufrirá ningún cambio en su forma, tan sólo cambiarán sus coordenadas, su orientación y su magnitud.

En determinadas ocasiones, los sistemas de referencia antiguos se materializaron con un instrumental, unas metodologías de observación y unos procesos de cálculo que les dotaron de una precisión inferior a la de los sistemas de referencia actuales. Estas diferencias de precisión son el motivo de determinadas incoherencias o deformaciones, que los métodos de transformación conformes no permiten corregir. Es por ello que surgieron las mallas de transformación, como la malla NTV2 de transformación, que permiten modelar parte de las incoherencias entre sistemas de referencia citadas.

Así pues, dado un sistema bidimensional de coordenadas cartesianas como el de la Figura 3 (a), la malla de transformación se basa en la definición de un conjunto de nodos, para cada uno de los cuales se especifican dos translaciones en el espacio bidimensional, como se puede ver en la Figura 3 (b).

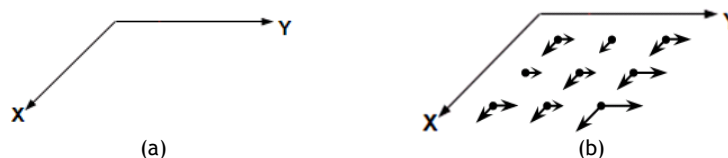


Figura 3 Sistema de referencia bidimensional (a) y modelado de la distorsión en malla (b)

El valor de estas dos translaciones por nodo se obtiene calculando la distorsión entre los sistemas de referencia, utilizando métodos de modelado como el de mínima curvatura, la colocación o rubber-sheeting, entre otros. Una vez modelada la distorsión, sea cual sea el método escogido para su cálculo, ésta se expresa en forma de malla de transformación, NTV2 por ejemplo. El cambio de sistema de referencia canadiense de NAD27 a NAD83 o el australiano de AGD66 a GDA94 son dos ejemplos de transformaciones en base a mallas NTV2 de transformación.

Cabe remarcar que, si bien las transformaciones de malla permiten modelar las problemáticas derivadas de las incoherencias entre sistemas de referencia, también introducen deformaciones en la cartografía donde se utiliza. Estas deformaciones pueden ir desde simples deformaciones de los elementos transformados hasta la pérdida de determinadas relaciones topológicas, pasando por errores concretos del tipo de dato que se transforme (vector o ráster) y de la escala del mismo.

4. Elección del modelo matemático para el ámbito específico de cartografía del ICC

Para el ámbito específico de cartografía del ICC, el grado de coherencia entre los marcos de referencia ED50-ICC y ETRS89 es suficiente para omitir el modelado de la distorsión y el uso de mallas NTV2 de transformación. Al no ser necesario aprovechar las ventajas que ofrece una malla de transformación, se descarta el uso de la misma para el cambio de sistema de referencia y, de esta forma, también se evitan todas las problemáticas apuntadas en los apartados precedentes para este tipo de transformaciones.

Con el descarte del uso de las mallas de transformación, la solución al cambio de sistema de referencia pasa por una transformación conforme. La aplicación de la transformación tridimensional o bidimensional presenta diferencias sustanciales, como se verá a continuación, que permitirán discernir cual es la que mejor se adapta a la transformación de cartografía del ICC

Por un lado, la aplicación de una transformación de semejanza tridimensional (modelo Bursa-Wolf) requiere que las coordenadas de los elementos a transformar estén expresadas en el sistema de coordenadas geocéntricas. Por otro lado, la cartografía suele representarse en una proyección y con altitudes ortométricas. El proceso de cambio de sistema de referencia de ED50 a ETRS89 para cartografía en la proyección UTM y con altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante, empleando la transformación de semejanza tridimensional, se resume en base a la siguiente figura:

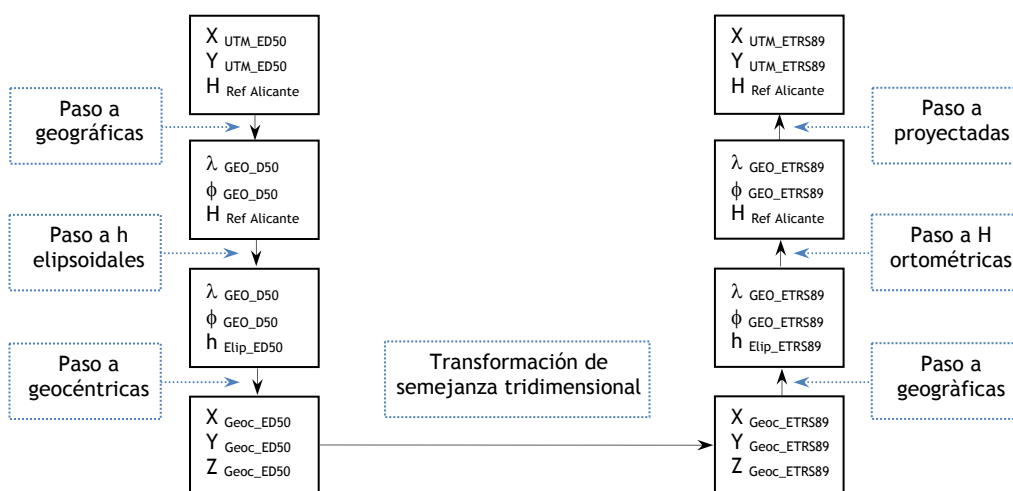


Figura 4 Transformación de coordenadas UTM en base a la transformación de semejanza tridimensional

Considerando el Real Decreto 1071/2007, citado anteriormente, el sistema ETRS89 “[...] tomará como referencia de altitudes los registros del nivel medio del mar en Alicante para la Península [...]”. Esto significa que la cota ortométrica oficial representada en la cartografía hasta el momento no varía con el cambio al nuevo sistema de referencia. Consiguientemente, para el ámbito específico de la cartografía del ICC, el cambio del sistema de referencia de ED50 a ETRS89 puede simplificarse a la transformación de semejanza bidimensional.

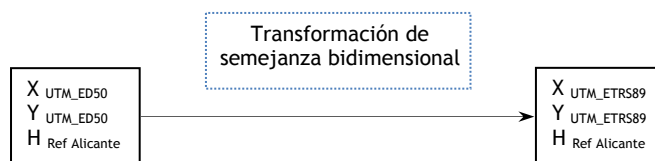


Figura 5 Transformación de coordenadas UTM en base a la transformación de semejanza bidimensional

Con el uso de la transformación de semejanza bidimensional se evitan una parte importante de los cálculos, ya que no es necesario cambiar entre coordenadas geográficas y UTM, ni entre los sistemas de coordenadas geográficas y geocéntricas. Todo esto evita el uso de desarrollos en serie de Taylor y los cálculos sobre la superficie del elipsoide que, debido a su complejidad, pueden presentar diferencias cuando son procesados por diferentes algoritmos, afectando al resultado y a la precisión final del proceso. Además, la transformación de semejanza bidimensional permite prescindir del empleo de los geoides y elimina la intervención de la cota ortométrica en los cálculos.

Los cuatro parámetros de la transformación de semejanza bidimensional están expresados para su aplicación directa en la proyección UTM. Consiguientemente, se pueden aplicar a las coordenadas de los elementos a transformar, con lo que basta editar las propiedades de estos elementos para cambiarlos de sistema de referencia. La transformación de semejanza bidimensional puede aplicarse en la mayoría de los sistemas CAD y GIS, ya que se puede descomponer en dos translaciones, un giro y un factor de escala. Los sistemas GIS, además, también suelen incorporar herramientas específicas para aplicar esta transformación.

En conclusión, y ante todos estos argumentos, el ICC ha optado por transformar la cartografía relativa a su ámbito utilizando la transformación de semejanza bidimensional, los parámetros de la cual ha oficializado la Comissió de Coordinació Cartogràfica de Catalunya.

La transformación de semejanza bidimensional presenta el inconveniente de que no todo el software puede aplicarla, ya que éste no implementa el modelo matemático de la transformación en sus herramientas de cambio. Este hecho dificulta la difusión de la transformación y la implementación de la misma por parte de los usuarios de cartografía del ICC, y es por ello que se ha establecido contacto con los principales fabricantes de software solicitando la inclusión del modelo de semejanza bidimensional. Dado que este proceso puede prolongarse más de lo deseable para los usuarios, se ha materializado la transformación en una malla NTV2, ya que este método sí se encuentra disponible en la mayoría de software.

Esta malla NTV2 se ha generado en base a un conjunto de puntos calculado con la transformación de semejanza bidimensional, y con una densidad suficiente para minimizar los errores por omisión de los procesos de interpolación. En conclusión, la malla NTV2 de transformación del ICC implementa la transformación de semejanza bidimensional, sin modelar ninguna distorsión entre sistemas de referencia.

5. Implementación de la transformación de semejanza bidimensional.

Una vez escogido el método de transformación óptimo para el caso de la cartografía oficial en Catalunya se presenta el cálculo realizado por el ICC en la determinación y evaluación de su aplicación.

Para el cálculo de los parámetros de la transformación se han escogido los puntos de la red ROI ya que están disponibles en ambos sistemas y tienen una distribución homogénea en el territorio. Así se dispone de una nube de 683 puntos distribuidos por toda Catalunya.

Un ajuste por mínimos cuadrados en base al modelo matemático (1), permite obtener una transformación de semejanza global para toda Cataluña, con los siguientes resultados:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}_{UTM_ETRS89} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + (1 + \mu) \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{UTM_ED50} \quad (1)$$

T_x	- 129,549 m
T_y	- 208,185 m
μ	1,5504·10-6
α	- 1,56504 ''

Los residuos del ajuste nos dan una estimación del error que se introduce al aplicar la transformación a la cartografía respecto a los marcos geodésicos.

	X (m)	Y (m)	Módulo (m)
Min:	-0,050	-0,042	-
Max:	0,038	0,047	0,065
Media:	0,000	0,000	0,021
Desv. est.:	0,016	0,017	0,010
RMS:	0,016	0,017	0,024

Para una estimación más próxima a la cartografía se dispone de la base de datos de los puntos de apoyo de la aerotriangulación para proyectos 1:1000 que se constituye de unos 15.000 a lo largo del territorio. Originalmente se dispone de los puntos en ED50-ICC y se transforman a ETRS89 mediante un reajuste de las bases respecto al nuevo marco ETRS89. Para conocer donde trasladará estos puntos que fueron utilizados en la elaboración de la cartografía 1:1000 ED50 la transformación en estudio se aplica esta a los puntos de cada proyecto. Comparando la diferencia entre el resultado del reajuste y de la transformación obtenemos la siguiente tabla:

	Componente X	Componente Y
Diferencia Max.	0,07 m	0,06 m
Diferencia Min.	-0,10 m	-0,07 m
Media	-0,01 m	-0,01 m
RMS	0,04 m	0,03 m

El resultado del error que introduce la transformación de 4 cm tendrá que añadirse al propio de la cartografía realizada en ED50 y conservar la precisión de cada escala por debajo del la tolerancia de las especificaciones. En el caso más restrictivo, el de la cartografía 1:1000 correspondiente al proyecto del Mapa Urbano de Catalunya (MUC) el error de los elementos por componente debe ser inferior a 12,2cm 1 σ (20cm 90%).

Para realizar esta comprobación se han analizado varias realizaciones del MUC en ED50. Los resultados empíricos de la precisión de la cartografía urbana del ICC, a partir de medidas realizadas en campo, dan una precisión de la cartografía de unos 9 cm (σ MUC_ED50) por componente. Por otra parte hemos constatado, que la transformación a ETRS89 conlleva un error de unos 4 cm (1 σ trafo), por lo tanto si transformamos una cartografía compilada en ED50 a ETRS89 tendrá un error final de 9,6 cm 1 σ < 12,2 cm. 1 σ y por tanto apta para transformar la cartografía producida por el ICC desde la escala 1:1000 hasta 1:50000. De esta forma se obtiene una transformación precisa y única para todas las bases.

Con este trabajo de validación presentado en la Comisión de Coordinación Cartográfica de Catalunya, órgano que coordina los esfuerzos en producción cartográfica y geoinformación entre la Administración de la Generalitat de Catalunya y los entes locales, se ha oficializado esta transformación como la oficial para los productos y servicios derivados del ICC en Catalunya.

6. Plan de Comunicación y Soporte

Con el objetivo de liderar el cambio del sistema de referencia en Catalunya el ICC está diseñando un plan de comunicación y soporte para la transición al nuevo sistema de referencia. Este plan abarca aspectos de información a la comunidad de usuarios, formación a distintos perfiles profesionales para la correcta transformación de sus productos de forma coherente a las bases del ICC y soporte al cambio mediante herramientas y asesoría técnica.

Uno de los aspectos ha sido la comunicación de la existencia de la transformación a distintos fabricantes y grupos de desarrolladores de software en el entorno de la geoinformación. Como este es un aspecto clave para la correcta implantación de la transformación y a fin de garantizar una correcta comunicación de la misma, se ha inscrito la transformación en el registro geodésico de la OGP. Para ello se han cumplido los estándares exigidos por el EPSG Geodetic Registry obteniendo su aprobación e inscripción en el registro bajo el código EPSG: 5166 de tipo Coordinate Transformation nombrado "ED50 / UTM zone 31N to ETRS89 / UTM zone 31N (1)". En el registro puede ser consultado tanto los parámetros como el modelo matemático implementado por el OGP.

Para avanzar en la correcta implementación se está elaborando documentación de soporte para la aplicación de la transformación mediante diversos métodos en diversos productos comerciales GIS, CAD..., a la vez que guías de implementación en librerías y herramientas OGC como gdal para la utilización de la transformación en productos y servicios basados en estos proyectos.

REFERENCIAS

- [1] Grau,J.; Bosch,E.: Canvi de Sistema de Referència ED50 a ETRS89. Revista Catalana de Geografia IV època / volum XIV / núm. 36 / juny 2009.
- [3] Canvi de sistema de referència ED50 a ETRS89 v3.1 . Normes i estàndards , Comissió de Coordinació Cartogràfica de Catalunya. , 16/09/2009
- [2] Grupo de trabajo para la transición a ETRS89: Necesidad de un nuevo "Datum" Consejo Superior Geográfico, 2007-10-05
- [3] <http://www.fomento.es> Instituto Geográfico Nacional, Geodesia, Redes Geodésicas.

CONTACTOS

Ernest BOSCH
ernest.bosch@icc.cat
ICC
Cap Unitat Geodèsia

Joel GRAU
joel.grau@icc.cat
ICC
Unitat Geodèsia

Julià TALAYA
julia.talaya@icc.cat
ICC
Cap Area Geodèsia

Josep Lluís COLOMER
josep_lluis.colomer@icc.cat
ICC
Subdirector General Tècnic